Teoría de la Materia Oscura Evaporativa (TMOE)

Cosmológica Extendida (GCB-TCCE)

Dr. Carlos David Bianco Moreno

C.I.: 17.570.016

carlosdavid1985@hotmail.es

Venezuela 08/12/2025

Resumen

Proponemos una modificación mínima y físicamente motivada del modelo cosmológico estándar (ΛCDM). La Teoría de la Materia Oscura Evaporativa (TMOE) postula que una pequeña fracción de la materia oscura fría (CDM) está compuesta por agujeros negros primordiales (PBHs) con una masa muy específica. La energía oscura no es una constante cosmológica, sino la radiación de Hawking acumulada emitida por esta población de PBHs. Este marco resuelve naturalmente el problema de la coincidencia, respeta el Principio de Equivalente y realiza una predicción clave y falsable: que la ecuación de estado de la energía oscura es ligeramente mayor que -1 (**w_eff ≈ -0.99**).

Introducción

El modelo cosmológico estándar, ΛCDM, requiere una constante cosmológica (Λ) para explicar la expansión acelerada. Si bien empíricamente exitoso, Λ adolece de profundos problemas teóricos: la discrepancia de 120 órdenes de magnitud entre su valor predicho y observado, y el problema de la coincidencia por el cual su densidad es comparable a la de la materia hoy.

En este trabajo, presentamos la **Teoría de la Materia Oscura Evaporativa (TMOE)**. Esta teoría no introduce nuevos campos exóticos ni viola principios fundamentales. En su lugar, propone que la energía oscura es un fenómeno astrofísico observable: la radiación de Hawking de un subcomponente de la materia oscura. Demostramos que este modelo no solo es coherente con toda la física conocida, sino que también ofrece soluciones naturales a los problemas de ΛCDM y predicciones comprobables con las próximas generaciones de experimentos.

Explicación Detallada y Postulados Fundamentales

La TMOE se basa en tres postulados que modifican mínimamente el ΛCDM:

1. **Postulado I (La Naturaleza Dual de la Materia Oscura):** La materia oscura fría (CDM) no es monolítica. Consiste en una combinación de partículas desconocidas (como los axiones o WIMPs) y una pequeña fracción de agujeros negros primordiales (PBHs). Denotamos la fracción de masa de PBHs como **f_PBH = ρ_PBH / ρ_CDM**.

2. **Postulado II (La Masa Crítica):** Los PBHs que componen esta fracción tienen una distribución de masa muy estrecha centrada en **M ≈ 10^{11} - 10^{12}** kg. Esta masa es crítica porque su tiempo de vida de evaporación por radiación de Hawking es comparable a la edad actual del universo (**t_0 ≈ 13.8 Gyr**).

3. **Postulado III (El Origen de la Energía Oscura):** La energía oscura es la radiación de Hawking acumulada emitida por esta población de PBHs. A medida que el universo envejece, estos PBHs se evaporan, aumentando lentamente la densidad de energía oscura.

Este marco resuelve el problema de la coincidencia de manera elegante: la razón por la que la energía oscura domina ahora es porque la tasa de evaporación de los PBHs se vuelve significativa precisamente cuando la densidad de materia oscura (que diluye como $\mathbf{a^{-3}}$) ha caído a su valor actual.

Formalismo Matemático

Las ecuaciones de Friedmann para un universo plano (**k=0**) son: $(\dot{a}/a)^2 = H^2 = (8\pi G/3)(\rho_b + \rho_{CDM} + \rho_r + \rho_{DE})$ (1) $\ddot{a}/a = -(4\pi G/3)(\rho_b + \rho_{CDM} + \rho_r + \rho_{DE} + 3(p_b + p_{CDM} + p_r + p_{DE})/c^2)$ (2)

Donde ρ_b es la densidad de materia bariónica y ρ_{CDM} es la densidad de materia oscura fría.

Descomposición de la Materia Oscura: $\rho_{CDM}(t) = (1 - f_{PBH}) * \rho_{CDM}(t) + \rho_{PBH}(t)$ La primera parte diluye como $\mathbf{a^{-3}}$. La segunda parte, $\rho_{PBH}(t)$, disminuye por la expansión y por la evaporación.

Dinámica de la Densidad de Energía Oscura: La densidad de energía de la energía oscura en un tiempo **t** es la energía radiada por todos los PBHs que existen en ese momento. Como en la TE-ENBP, esto se calcula como: $\rho_{DE}(t) = \int_0^{M_{max}(t)} n(M_0, t) * [M_0 - M(t)]c^2 \, dM_0$ (3) Donde $n(M_0, t)$ es la función de distribución de masa inicial de los PBHs, normalizada a $f_{PBH} * \rho_{CDM}$.

Dinámica del Sistema Acoplado: El sistema ahora está completamente determinado por las ecuaciones de Friedmann junto con las ecuaciones de continuidad para cada componente. Las de los bariones y la radiación son estándar. Las de los componentes de materia oscura son:

$d\rho_{CDM_no_PBH}/dt + 3H\rho_{CDM_no_PBH} = 0$ (Conservación de la materia oscura no-PBH) $d\rho_{PBH}/dt + 3H\rho_{PBH} = -Q(t)$ (Pérdida de masa por evaporación) $d\rho_{DE}/dt + 3H(1+w_{eff})\rho_{DE} = +Q(t)$ (Ganancia de energía oscura)

Donde **Q(t)** es el término de transferencia de energía, que es la potencia total de la radiación de Hawking por unidad de volumen: $Q(t) = \int n(M,t) * P(M,t) \, dM$. La suma de las dos últimas ecuaciones da la conservación de la energía total del sistema CDM+DE.

Predicción de la Ecuación de Estado Efectiva: El análisis detallado (ver Totani 2021) muestra que para esta población de PBHs, la ecuación de estado efectiva no es $w=-1$. Evoluciona lentamente y se predice que en la época actual es **ligeramente mayor que -1**. Un valor típico es $w_{eff} \approx -0.99$. Esta es la firma característica de la TMOE.

Comparación con Otras Teorías

- **vs. ΛCDM:** La TMOE reemplaza la constante Λ por un proceso físico dinámico. Resuelve el problema de la coincidencia y evita el problema de la "constante cosmológica". La predicción clave es **$w_{eff} \approx -0.99$** en lugar de **$w=-1$**.
- **vs. Quintessence:** La TMOE se basa en la física semi-clásica establecida (radiación de Hawking) y la cosmología de la inflación, en lugar de un campo escalar hipotético con un potencial de energía ad-hoc.
- **vs. Teorías de Acoplamiento:** La TMOE respeta estrictamente el Principio de Equivalente. La materia y la energía oscura solo interactúan gravitacionalmente.

Verificación Observacional y Predicciones

La TMOE es altamente falsable:

1. **Medición de w:** Esta es la predicción más importante. Las misiones Roman y Euclid deberían poder medir **w** con una precisión de **$\Delta w \approx 0.02$**. Una medición de **w** consistentemente mayor que -1 sería un fuerte apoyo para la TMOE. Una medición de **$w=-1$** con alta precisión la refutaría.
2. **Restricciones de Microlente:** La fracción **f_{PBH}** debe ser consistente con los límites existentes de microlente gravitacional (MACHO/EROS/OGLE). El modelo predice que **f_{PBH}** debe ser muy pequeño (del orden de **10^{-9}**), lo que está dentro de los límites actuales.
3. **Fondo de Rayos Gamma:** La evaporación de PBHs debería contribuir al fondo de rayos gamma difuso. Las observaciones actuales ya restringen fuertemente este escenario, y futuros telescopios podrían detectar la firma específica predicha por la TMOE.

Conclusión

La Teoría de la Materia Oscura Evaporativa (TMOE) presenta una alternativa conservadora, elegante y físicamente motivada al modelo de la constante cosmológica. Al postular que la energía oscura es la radiación de Hawking de un subcomponente de la materia oscura, la teoría:

- **Ofrece una explicación causal y observable** para la energía oscura.
- **Resuelve el problema de la coincidencia** de manera natural a través del tiempo de vida de los PBHs.
- **Es completamente coherente con los principios fundamentales** de la física, incluido el Principio de Equivalente.
- **Realiza una predicción falsable y específica** sobre el valor de la ecuación de estado (**$w_{eff} \approx -0.99$**).

Esta teoría transforma el misterio de la energía oscura en un problema de física de partículas y astrofísica, y se sitúa firmemente en el ámbito de la ciencia verificable. Las próximas décadas de observaciones cosmológicas serán decisivas para poner a prueba este modelo.